

# Die perfekte Auswahl zum Schutz Ihres wertvollsten Guts: Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) für die Herstellung von Sicherheitsausrüstung für den Bereich oberhalb des Halses

## **Technisches Whitepaper Autor:**

Dr. Mandy Humphreys  
Leiterin des Bereichs Technical &  
Operations bei Centurion Safety  
Products Ltd

Vorsitzende des TC 158 (Europäisches Technisches Komitee für den Kopfschutz).  
Vorsitzende von PH6 (nationale britische übergeordnete „Mirror Group“ des TC 158).  
Ausschussmitglied von PH2 (britisches technisches Komitee für Augen- und Gesichtsschutz).

## **Mitwirkende und Indossanten:**

Dr. Vanessa Goodship PHD  
Principal Research Fellow,  
Universität Warwick

Dr. Kylash Makenji C.Eng, PHD  
Knowledge Transfer Specialist  
Universität Warwick

# Inhalt

Hintergrund	3
Was ist ABS?	4
Wie werden Produkte mit ABS erstellt?	5
Warum sollte man ABS für den Schutz oberhalb des Halses verwenden?	6
ABS im markt für Kopfschutzprodukte	9
Welches Material würden sie verwenden, um den wichtigsten Körperteil zu schützen?	10
Referenzen:	10
Autoren	11

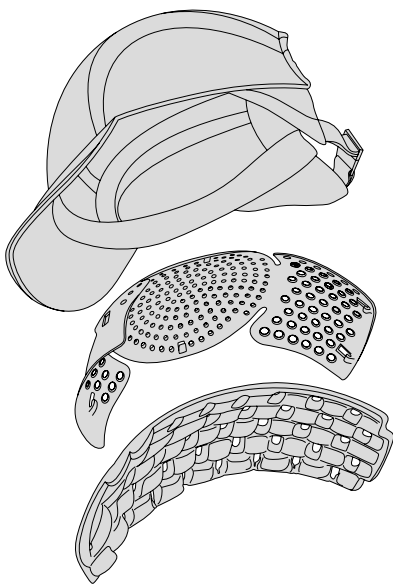
# Hintergrund

Das Ziel von Centurion Safety Products ist es, in diesem Artikel die Verwendung von Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) für Kopfschutzprodukte zu begründen.

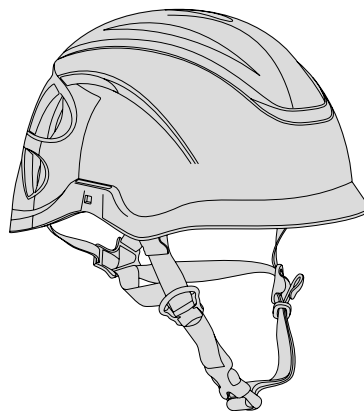
Derzeit wird die Schutzhülle, die das Kernstück in den Kopfschutzprodukten von Centurion Safety bilden, entweder aus teilkristallinem hoch verdichtetem Polyethylen (HDPE) oder aus unkrystallisiertem Acrylnitril-Butadien-Styrol (ABS) gefertigt.

Andere Produkte, mit geringeren Anforderungen, werden häufig aus kostengünstigerem einfach zu verwendenden HDPE hergestellt. Hingegen Premiumprodukte in einem hochtechnologischem Verfahren meist aus ABS-Material hergestellt werden.

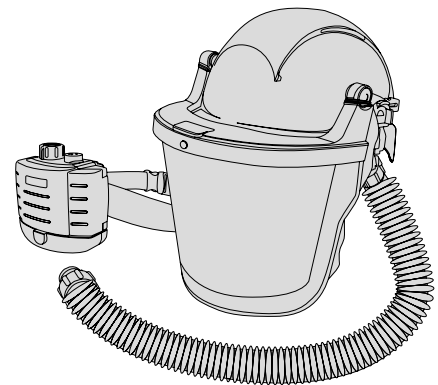
Derzeit herrscht auf dem Markt eine gewisse Unklarheit, im Hinblick auf die Wahl der Kunststoffe. Der Grund dafür ist, dass bei Polymer-Familien, sowohl bei HDPE als auch bei ABS, verschiedenste technische Grade mit unterschiedlichen Eigenschaften auftreten. Nicht alle Grade von ABS oder HDPE besitzen die gewünschte Leistungsfähigkeit, die vom Endprodukt erwartet wird.



Kappen-Schutzsysteme



Helm-Schutzsysteme

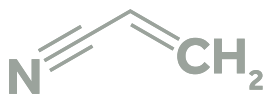


Atemschutzsysteme

**Abbildung 1**  
ABS-Produkttypen

# Was ist ABS?

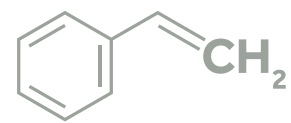
ABS ist ein Terpolymer, eine lange Kette chemischer Bestandteile, die verbunden sind und aus drei verschiedenen Monomeren stammen, was die Grundeinheit ist aus der Polymer-Materialien bestehen. Die chemischen Bestandteile, aus denen ABS besteht, sind unten grafisch dargestellt.



**ACRYLONITRILE**



**1,3-BUTADIENE**



**STYRENE**

**Abbildung 2**  
Chemische Zusammensetzung von ABS-Kunststoff

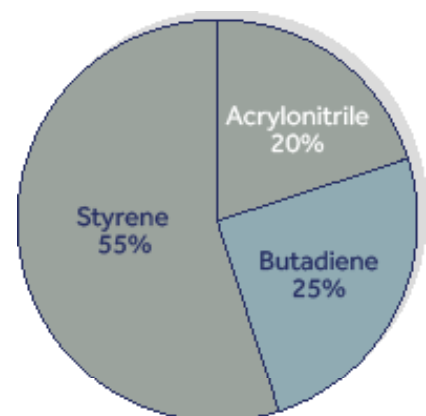
$(C_8H_8 \cdot C_4H_6 \cdot C_3H_3N)_n$ , bedeutet vereinfacht, dass eine von jeder der Monomereinheiten in einer sich wiederholenden Sequenz miteinander verbunden ist.

Jedes Monomer im ABS verdient seinen Platz in der Formulierung, indem es eine Reihe von Leistungsmerkmalen einbringt;

1. **Acrylonitrile** bietet Hitze- und Chemikalienbeständigkeit sowie Zugfestigkeit
2. **Butadiene** (Gummi) bietet Stoßfestigkeit, Zähigkeit und gute Leistung bei niedrigen Temperaturen
3. **Styrol** bietet ein glänzendes Aussehen, gute Verarbeitbarkeit und Steifigkeit.

Die Partikelverteilungen der „Butadien“-Phase werden manipuliert, was bedeutende zusätzliche Auswirkungen auf die Materialeigenschaften haben kann, d. h., die Erhöhung der Partikelgröße kann die Zähigkeit steigern und die Verlängerung der Polymerkette kann zu einem stärkeren Material führen. All diese Faktoren und physikalischen Eigenschaften der Kunststoffe werden nach „Machbarkeit“ abgewogen. Das bedeutet, Materialien mit übermäßig

langen Polymerketten bieten gute physikalische Eigenschaften. Hingegen Materialien mit langen Molekülketten eine niedrige Schmelzflussrate haben, was die Schmelzverarbeitungsfähigkeit erschwert. Die Eigenschaften der resultierenden Polymere können durch Änderungen der Verhältnisse dieser Monomere manipuliert werden. Typische Verhältnisse für ABS sind: Acrylnitril 20: Butadien 25: Styrol 55 %. (Abbildung 3)



**Abbildung 3**  
Molekular-Mix

# Wie werden Produkte mit ABS erstellt?

Der Verarbeitungsprozess des ABS-Materials kann so beeinflusst werden, um die gewünschten Eigenschaften zu optimieren. Formen bei hohen Temperaturen verbessert den Glanz und die Wärmebeständigkeit der resultierenden Formteile, während das Formen bei niedrigeren Temperaturen die Stoßfestigkeit des Produkts erhöht.

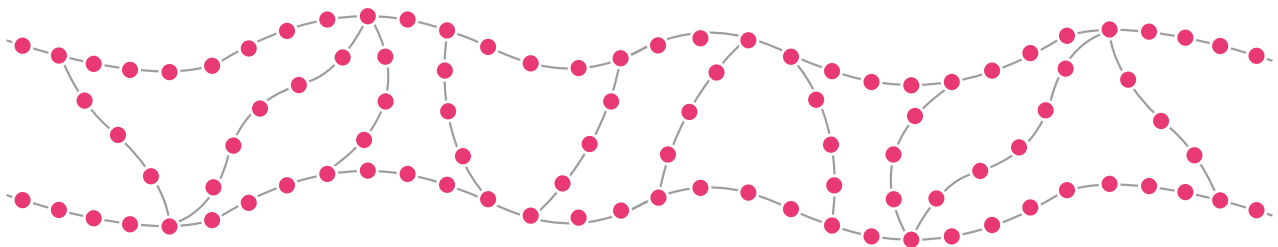
Die gleichbleibende Festigkeit des Materials ist abhängig von seiner amorphen (nicht-kristallinen) Nachbearbeitung, und die langen Butadienketten kreuzen sich mit kürzeren Poly-(Styrol-Coacrylnitril-)Ketten. Dies erzeugt eine komplexe „Matrix“, die in alle Richtungen stark und einheitlich ist (Abbildung 4). Dies steht im Gegensatz zu einigen anderen Polymeren (wie HDPE), die dazu neigen, eine semikristalline Struktur mit „Ketten“ zu bilden, die eine flache, alle 5-15 nm gefaltete Zickzack-Konfiguration haben, die eine ebene Lamelle bilden können, um eine gewisse mechanische Festigkeit zu bieten (Abbildung 5).

Einige dieser Ketten, beispielsweise in HDPE, neigen dazu, sich über eine amorphe Region, die Sphärolite bildet, zu verbinden. Hierbei handelt es sich um kristallisierte „Kugeln“ aus Lamellen, die die Ursache für Materialsprödigkeit sein können.

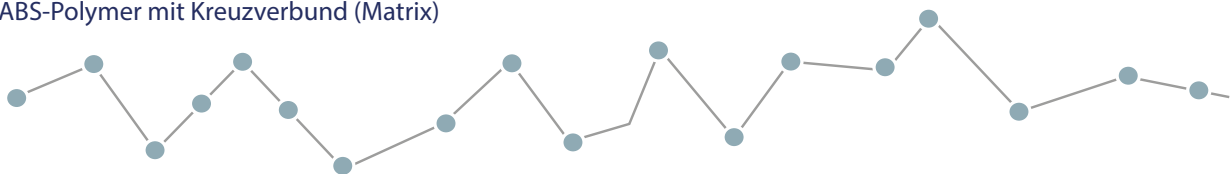
Während der optimierten Vorbereitung der ABS-Schmelze vor dem Spritzgießen werden diese langen Butadienketten „aufgereiht“, um dem resultierenden Spritzgussprodukt eine Längsfestigkeit zu verleihen. Der nicht-Newtonsche oder viskoelastische Charakter von ABS setzt voraus, dass die

Formbedingungen sorgfältig kontrolliert werden sollten.

Dies soll sicherstellen, dass die Scherung auf ein Minimum reduziert wird, um übermäßige Einspritzdrücke während der Packungsphase des Formprozesses zu vermeiden und die lineare Bildung der Butadienketten zu fördern. All diese molekularen Eigenschaften belegen, dass sich ABS „entwickelt“ hat und mittlerweile überragende Leistungsmerkmale aufweist und daher ein ideales Material für strukturelle Anwendungen ist, bei denen Stoßfestigkeit, Zähigkeit und Steifigkeit gefordert sind.



**Abbildung 4**  
ABS-Polymer mit Kreuzverbund (Matrix)



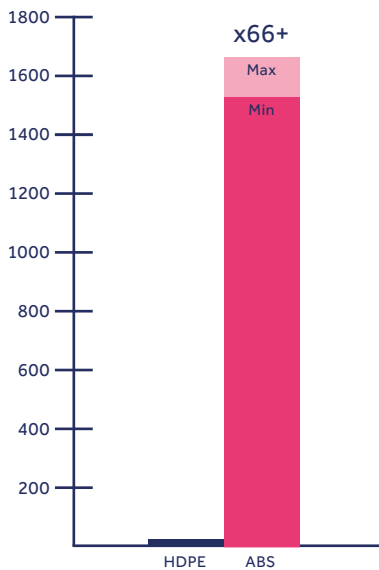
**Abbildung 5**  
HDPE Linear

# Warum sollte man ABS für den Schutz oberhalb des Halses verwenden?

Wenngleich ABS überlegene Eigenschaften hat, kann sich seine Verarbeitung als schwierig erweisen. Die ABS-Typen mit hoher Schlagfestigkeit und Zähigkeit weisen im Vergleich zu HDPE (mit bis zu  $\sim 26 \text{ g/cm}^3$  gemäß ISO 1133) niedrigere Schmelzflussindexwerte auf ( $\sim 1,8 \text{ g/10 mm}$ ), was zu Problemen beim Spritzgießen von ABS führen kann. Dies gilt insbesondere für die dünnwandigen Abschnitte komplexer Formen. Sobald dieses Problem jedoch bewältigt ist, profitieren die Formteile von ABS-Eigenschaften, wie in Abbildung 6 dargestellt. Wie bei vielen Dingen lohnt es sich auch hier angesichts der Leistungsmerkmale, die Herausforderungen (bei der Verarbeitung) in Angriff zu nehmen.

**Abbildung 6**  
Materialvergleich ABS V HDPE

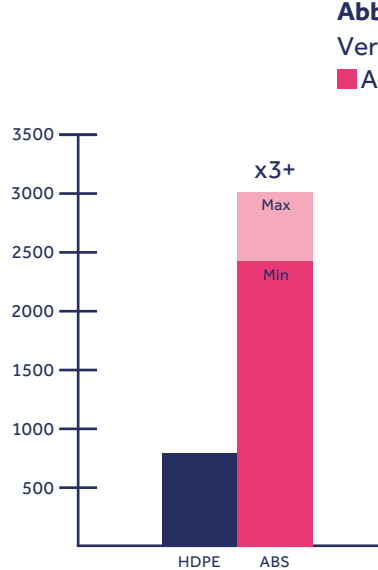
Testverfahren	Beschreibung	Schlagfestes ABS	HDPE
Druckfestigkeitstest ASTM D695	Fähigkeit eines Materials, der Druckkrafteinwirkung zu widerstehen	1310-1650MPa	19-25MPa
Zugfestigkeit (nach Young) ISO 527	Definiert die Beziehung zwischen Spannung und Dehnung, d. h. ein Gummiband hat eine geringe Zugfestigkeit	2400-3000MPa	800MPa
Härtetest ISO2039-1	Definiert die Kraft, die erforderlich ist, um eine Vertiefung mit einer 5 mm Stahlkugel zu erzeugen	110-120N/mm	35-65N/mm



### DRUCKFESTIGKEIT

Je höher die Zahl, desto mehr Druck muss auf das Material ausgeübt werden, um es zu verformen. Dieser Messwert liefert einen sehr starken Beleg für die hervorragende Leistung von ABS, die Integrität der Form zu erhalten, in die es gebracht wird. Bei der schützenden Schale des Kopfschutzes ist dieses Merkmal wichtig für Produkteigenschaften wie etwa das Beibehalten einer geringen seitlichen Verformung unter Belastung im Verlauf der Zeit.

Je höher die Zahl, desto weniger dehnt sich das Material bei Belastung aus. Dieser Messwert liefert einen sehr starken Beleg für die hervorragende Widerstandsfähigkeit von ABS gegen strukturelle Verformung unter Belastung. Es gibt spezielle Anwendungen, bei denen ein niedriger Elastizitätsmodul eine ausgezeichnete Eigenschaft ist (zum Beispiel bei einem Gummiband). Für die schützende Schale von Kopfschutzprodukten ist jedoch ein hoher Wert für diese Eigenschaft optimal, um Produkteigenschaften zu gewährleisten, bei denen die integrale Form des Materials entscheidend ist..



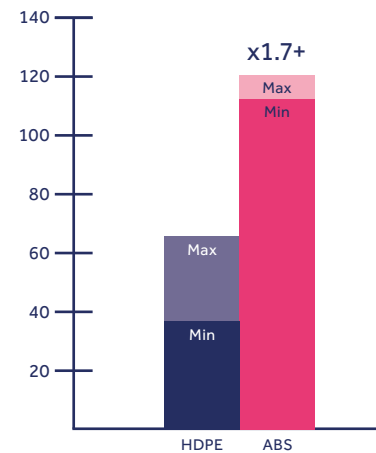
### ZUGFESTIGKEIT

Je höher die Zahl, desto mehr Kraft ist erforderlich, um eine Druckstelle im Testmaterial zu erzeugen. Dieser Messwert ist ein sehr guter Beleg für die hervorragende Fähigkeit von ABS, seine strukturelle Integrität beizubehalten, wenn es einem Projektil ausgesetzt wird (in diesem Fall einer Stahlkugel). Für die schützende Schale des Kopfschutzes ist ein hoher Wert in diesem Bereich äußerst vorteilhaft, da der primäre Zweck des industriellen Kopfschutzes darin besteht, eine Verletzung des Benutzers durch herabfallende Gegenstände zu verhindern.

**Abbildung 7**

Vergleich von Stärke und Härte von ABS vs. HDPE

■ ABS ■ HDPE



### HÄRTE

Abbildung 7, Diagramm 1, zeigt eine Auswahl der für die Herstellung von Sicherheitsausrüstungen für den Aufprallschutz relevanten Materialeigenschaften. In Anbetracht der verschiedenen Umgebungen, in denen das Produkt verwendet werden kann, ist es sinnvoll, ein Material zu wählen, das eine hohe Kraft erfordert, um eine Eindrückung zu erzeugen, und das einen hohen Druck erfordert, um die Struktur zu „verformen“, also eine hohe Zug- und Druckfestigkeit hat. Bei derart guten Materialeigenschaften ist es nicht überraschend, dass viele Branchen für bis zu 20 % recyceltes ABS im Neumaterial ohne wesentliche Leistungsverluste plädieren; und es ist ebenso wenig überraschend, dass ABS der weltweit meistverkaufte technische Thermoplast ist. Die hohe Dimensionsstabilität von ABS macht es zu einer ausgezeichneten Wahl für ein in großen Mengen hergestelltes Formmaterial, weil dies die Konsistenz des hergestellten Produkts fördert. Die amorphe Beschaffenheit von ABS trägt zu seiner relativ flachen Belastungsreaktion auf Temperatur bei, d. h. die Materialeigenschaften und somit auch die Leistung sind innerhalb eines breiten Temperaturbereichs relativ unabhängig von der Temperatur. Dies scheint besonders für niedrige Temperaturen wichtig zu sein, bei denen ABS seine Festigkeit beibehält.

## KRISTALLE

Es wurde bereits angemerkt, dass HDPE kristalline Phasen enthält, und es ist für viele Materialien erwiesen, dass sich an den Rändern solcher Kristalle Defekte bilden können. Belastungen durch die Umwelt und die damit verbundene Rissbildung von HDPE sind ein bekanntes Phänomen. Dies wird als ein äußerer oder innerer Riss in einem Kunststoff beschrieben, der dadurch verursacht wird, dass die Zugspannungen geringer sind als seine kurzfristige mechanische Festigkeit. Diese Art der Rissbildung ist üblicherweise mit spröder Rissbildung oder Sprödbbruch verbunden. Diese hat auch noch einen anderen Namen: „langsameres Risswachstum“, was die ungünstigere Form dieses Phänomens ist, bei der Risse auftreten können und die Performance des Kunststoffs viele Monate nach der Formung des Produkts katastrophal beeinträchtigen. Das Phänomen war in der Vergangenheit so besorgniserregend, dass der Standardtest ASTM D883 entwickelt wurde. Es kann vorkommen, dass unter Spannung stehende Proben reißen

(Spannungen können an der Grenzfläche zweier Komponenten auftreten, selbst wenn sie nicht verwendet werden), im Allgemeinen (wenn auch nicht immer) bei Anwendung von Oberflächenbenetzungsmitteln wie Alkoholen, Seifen und grenzflächenaktiven Substanzen. In der Literatur ist aufgeführt, dass allgemein davon ausgegangen wird, dass diese Risse an mikroskopischen Imperfektions-/ Kristallgrenzen entstehen und sich über die kristallinen Bereiche der Polymerstruktur ausbreiten. Im Laufe der Jahre hat die Polymerchemie dieses Problem untersucht, und diese Arbeit hat zu bestimmten HDPE-Typen geführt, von denen berichtet wird, dass sie eine gewisse Beständigkeit gegenüber der umgebungsbedingten Spannungsrisbildung aufweisen, es gibt jedoch viele, die diese Beständigkeit nicht aufweisen. Die Beständigkeit gegenüber der umgebungsbedingten Spannungsrisbildung bestimmter HDPE-Typen wurde anhand des Standards ASTM D1693 und der Einwirkung von Igepal, einem

grenzflächenaktiven Stoff, der die Bildung von Spannungsrisen in diesen Materialien beschleunigt, nachgewiesen. Da Ethylen das kosteneffektivste Rohmaterial ist, das mit der Polymerherstellung verbunden ist, ist es nicht überraschend, dass es zur Herstellung von kostengünstigeren Kunststoffen wie HDPE verwendet wird, weil die niedrigeren Kosten es zu einer beliebten Wahl machen. Verbesserungen der Synthesewege unter Verwendung von Ziegler- oder Single-Site-Metallocenkatalysatoren haben auch die Produktionskontrollen der Polymerisation und daher der Kettenlängen verbessert. Die Auswahl des HDPE-Qualitätsgrads kann sich als Herausforderung erweisen, da die Messung der Stärke und Qualität aufgrund der Auswirkung auf die Leistung des Materials, die mit den heterogenen sphärolithischen kristallinen Merkmalen innerhalb des Materials, d. h. der nicht gleichförmigen molekularen Beschaffenheit des Materials, verbunden ist, schwierig sein kann.



# ABS im markt für Kopfschutzprodukte

Was ist für Endverbraucher von Kopfschutz wichtig?

- Das Produkt „hält, was es verspricht“
- Das Produkt hat eine „angemessene“ Lebensdauer
- Das Produkt ist bequem zu tragen
- Das Produkt wird auf dem Bau als modisch angesehen

Sowohl ABS als auch HDPE haben unterschiedliche Eigenschaften, was ein Vorteil ist, um eine große Vielfalt an Schutzprodukten für den Bereich oberhalb des Halses herzustellen. Es gibt auf dem Markt sowohl ABS als auch HDPE Helmschalen, die tatsächlich das leisten, womit sie beworben wurden, daher ist es aus materialtechnischer Sicht durchaus möglich, zu erreichen, was der Endnutzer fordert.

Europäische Hersteller geben häufig an, dass die Leistungsfähigkeit fünf Jahre lang ab der Herstellung garantiert wird. Aufgrund der überwiegend aus ABS-Produkten bestehenden Produktplatte, gibt Centurion normalerweise 5 Jahre im Lager plus 5 Jahre in Verwendung an.

Hersteller empfehlen üblicherweise, Produkte mit „warmer Seifenlauge“ zu reinigen. Seifen sind von Natur aus oberflächenaktiv. Ob diese Vorgehensweise das Risiko der umgebungsbedingten Spannungsrissebildung bei bestimmten HDPE-Produkten auf dem Markt erhöht, ist noch nicht hinreichend erforscht. Der wahrgenommene Komfort des Produkts hängt von einer Reihe von Faktoren ab: Gewicht und Stil/ Design sind zwei der wichtigsten. Die Festigkeit und Zähigkeit von ABS wurden bereits erwähnt. Durch diese Materialeigenschaften können Schalen mit geringerer Wandstärke und damit geringerem Gewicht geformt werden: ABS bietet einen vergleichbaren

und in speziellen Fällen sogar höheren Schutz als HDPE-Schalen, d. h. die Wandstärke des Centurion Concept beträgt an der Krone 3,4 mm gegenüber 5,1 mm bei einer alten Centurion HDPE 1100/1125-Schale. Die andere Alternative besteht darin, dass Wandstärke und Schalendesign unverändert bleiben und die angegebenen Leistungsmerkmale der ABS-Variante höher sind. Centurion verfügt über eine großartige Fallstudie, in deren Rahmen das Unternehmen den gleichen Helm mit zwei verschiedenen Polymeren hergestellt und vertrieben hat: Reflex (hergestellt aus HDPE) und Reflex Plus (hergestellt aus ABS). Die Leistungsunterschiede sind in Abbildung 8 dargestellt.

## Abbildung 8

Vergleich der Produkte Reflex und Reflex Plus products

Einhaltung der Spezifikationen	Reflex	Reflex Plus
Grundmaterial	HDPE	ABS
EN 397 (1 Meter Fallhöhe) @ -30°C	JA	JA
EN 397 (1 Meter Fallhöhe) @ -40°C	NEIN	JA
ANSI typ I (1,12 Meter Fallhöhe) @ -30°C	NEIN	JA
Schalengewicht (g)	~ 240	~ 272

# Welches Material würden sie daher verwenden, um ihr wichtigstes Körperteil zu schützen?

Die Materialeigenschaften von ABS lassen eine problemlose Verwendung in den widrigen Umständen zu, denen Schutzhelme ausgesetzt sind, und bieten gleichzeitig eine Schutzhülle mit geringem Gewicht, so dass sie bequem 8-12 Stunden am Stück zu tragen ist. Die hohe Temperaturbeständigkeit und die Aufpralleistung die ABS bietet, machen aus ihm ohne Frage das perfekte Material für Premiumprodukte, die lange überholte Normen weit übertreffen.

Ganz klar gibt es Formprodukte, für die spezifische HDPE-Typen gut geeignet sind; zum Beispiel wenn das Produkt linear gestreckt oder gedehnt wird. Die Schutzhülle eines Helms kann jedoch aus jedem beliebigen Winkel „angegriffen“ werden, weshalb robustere Materialien vorzuziehen sind. Wenn es darum geht, das wichtigste Gut eines Arbeiters zu schützen, empfehlen wir, ein wenig mehr zu investieren, um die Normen zu übertreffen und die Sicherheit für alle zu gewährleisten.

## REFERENZEN:

**Robeson.** Environmental stress cracking – A review. Polymer Engineering & Science 2012; 53, Ausgabe 3 p453-467

**Grassi, Pizzol & Forte.** Influence of small rubber particles on environmental stress cracking. Journal of applied polymer science 2011, volume 121, Ausgabe 3, p 1697-1706

**Rodriguez, Colen, Ober & Archer.** Principle of Polymer Systems 2015 Handbook of Plastic Materials & Technology 1990



## AUTORIN DR MANDY HUMPHREYS

Mandy Humphreys hat einen Abschluss in Biochemie/Mikrobiologie erworben und begann ihre berufliche Ausbildung als Biochemikerin. Sie arbeitete in der Forschung und Entwicklung für Rhone Poulenc, zunächst als Laborantin und dann als Teamleiterin eines multidisziplinären Teams. Gleichzeitig schloss sie ihre Doktorarbeit an der Universität Essex ab.

Seit ihrem Eintritt bei Centurion hat Mandy Humphreys die Abteilungen Technical und Operations optimiert und war maßgeblich an der Entwicklung der preisgekrönten Nexus-Produktreihe beteiligt.

Frau Humphreys ist die aktuelle Vorsitzende von TC 158, dem europäischen technischen Komitee für den Kopfschutz. Schwerpunkt dieses Komitees sind individuelle Kopfschutzanwendungen, die von industriellen Helmen bis hin zu Helmen für den Reitsport, Kanusport usw. reichen.

Frau Humphreys ist außerdem Vorsitzende von PH6. Dies ist die britische „Mirror Group“ von TC 158, die sich an TC 158 ausrichtet und auf nationaler Ebene (Vereinigtes Königreich) Themen diskutiert, die in TC 158 behandelt werden, und die die Vertretung Großbritanniens auf europäischer Bühne gewährleistet.

Frau Humphreys ist darüber hinaus Ausschussmitglied von PH2, dem britischen Komitee für Augen- und Gesichtsschutz.

---

## MITWIRKENDE UND INDOSSANTEN



### DR. KYLASH MAKENJI KNOWLEDGE TRANSFER SPECIALIST, UNIVERSITÄT WARWICK

Dr. Kylash Makenji ist ein Diplom-Ingenieur mit umfassender Erfahrung im Bereich der Polymermaterialien und der Entwicklung innovativer Verarbeitungstechniken.

Kylash hat einen Master of Science und ein Ingenieur-Doktorat von der Universität Warwick.

### DR. VANNESSA GOODSHIP PRINCIPLE RESEARCH FELLOW, UNIVERSITÄT WARWICK

Vannessa Goodship ist in den letzten sieben Jahren als Principle Research Fellow an der Universität Warwick verantwortlich für die Bereitstellung von Know-how im Bereich der Kunststofftechnologie für die Industrie und Wissenschaft.

Frau Goodship verfügt über ein Doktorat in Philosophie und Ingenieurwesen und ist auf Polymerverarbeitung, Kunststoffmaterialien, Recycling und multifunktionale Komponenten spezialisiert.

